植物营养与肥料学报 2015,21(4): 969 -978 doi: 10.11674/zwyf.2015.0416
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http: //www.plantnutrifert.org

钾肥运筹对烤烟钾吸收利用的影响

李 静[1], 张锡洲[1*], 李廷轩[1], 郑子成[1], 王 勇[2]
(1 四川农业大学资源环境学院, 四川成都 611130;
2 四川省烟草公司凉山州公司, 四川西昌 615000)

摘要:【目的】烟叶含钾量低是我国生产优质烟叶的主要限制因素之一,困扰着我国烟草生产。本文研究了钾肥运筹对四川省凉山州主栽烤烟品种云烟 85 钾吸收利用的影响,为当地合理施用钾肥提供科学依据。**【方法】**以云烟 85 为试验材料,采用大田试验,研究钾肥用量对云烟 85 的产量和钾积累量的影响,确定相对较优的钾肥用量及烤烟的钾积累高峰期;在此基础上,研究钾肥施用方式对云烟 85 的产量、品质、钾积累量和钾肥利用率的影响。**【结果】**烤烟产量和钾积累量随钾肥用量的增加先升高后降低。钾肥用量为 158 kg/hm^2(约为当地常规用量的 75%)时,云烟 85 的烟叶产量(2238.2 kg/hm^2)与最高产量(2239.1 kg/hm^2), 钾积累量(52.16 kg/hm^2)与最高钾积累量(53.47 kg/hm^2)之间差异较小,在土壤速效钾含量处于丰富(≥200 mg/kg)水平时,降低 25% 左右的钾肥用量可提高种植云烟 85 的经济效益。烟草生育周期内,钾积累速率呈双峰曲线,钾积累高峰出现在旺长后期(移栽后 50～65 d)和中部叶成熟期(移栽后 85～95 d)。在钾肥施用总量 158 kg/hm^2 条件下,在烤烟进入旺长后期(移栽后 50～65 d)和中部叶成熟期(移栽后 85～95 d)之前,分别追施钾肥总量的 15%～20%,打顶后 5 d 和 10 d 内烟叶钾积累量的降低比例分别比常规施肥减少了 37.2～42.0 和 15.4～60.3 个百分点,且成熟期中、上部烟叶的含钾量显著增大,分别达 3.21% 和 3.37%,钾肥利用率比当地常规施肥方式高出 12～18 个百分点。**【结论】**钾肥追施时期调整至钾积累高峰期之前,有望提高成熟期的烟叶含钾量。在本试验条件下,种植云烟 85 时应将钾肥用量控制在 158 kg/hm^2 左右,并在旺长后期和中部叶成熟期分别追施钾肥总量的 15%～20%,可有效提高钾肥利用率和成熟期的烟叶含钾量,达到高产优质的目的。

关键词: 钾肥运筹; 烤烟; 吸收; 积累; 利用
中图分类号: S572.06 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)04-0969-10

Effect of potash management on potassium absorption and utilization of flue-cured tobacco

LI Jing[1], ZHANG Xi-zhou[1*], LI Ting-xuan[1], ZHENG Zi-cheng[1], WANG Yong[2]
(*1 College of Resource and Environmental Sciences, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;*
2 Liangshan Branch of Sichuan Tobacco Company, Xichang, Sichuan 615000, China)

Abstract:【Objectives】Low K content in tobacco leaves has been one of the limiting factors for the good quality of tobacco in China, plagued the tobacco production in China. In this paper, the K absorption and utilization of flue-cured tobacco affected by potash management were studied in Liangshan City, Sichuan Province, so as to provide a scientific basis for rational fertilization of tobacco. **【Methods】** A field experiment was conducted to study the appropriate K application rate and the peak K accumulation of the tobacco cultivar Yunyan85. Based on this research, another field experiment was carried out to study the influence of potash management on yield, quality, and K accumulation and utilization efficiency of Yunyan85. **【Results】** The yield and K accumulation of flue-cured tobacco are increased firstly and then decreased with the increase of potash rates. When the K application rate was 158 kg/hm^2, about 75% of the local common K rate, the yield is 2238.2 kg/hm^2 and the K accumulation is 52.16

收稿日期: 2014-04-25 **接受日期:** 2014-06-18 **网络出版日期:** 2015-02-12
基金项目: 四川省烟草公司凉山州公司科技项目"植烟土壤钾素动态变化与烟草钾吸收分配规律研究(2011-2013)"资助。
作者简介: 李静(1989—), 女, 四川绵阳人,硕士研究生, 主要从事烤烟营养施肥研究。E-mail:lijing3037@163.com
* 通信作者 E-mail:zhangxzhou@163.com

kg/hm^2, which are slightly lower than the highest yield (2239.1 kg/hm^2) and the highest K accumulation (53.47 kg/hm^2) in the experiment. So, the K application rate can be reduced by 25% to improve the economic benefits of planting tobacco production when the available K content of soil is ≥200 mg/kg. The K accumulation shows a double-peak curve during the whole growing stage of tobacco plants, the two peaks appear at the later vigorous growth stage (50–65 days after transplanting) and middle leaf maturity stage (50–65 days after transplanting). At the K application amount of 158 kg/hm^2, 15%–20% of total K fertilizer were top dressed before the later vigorous growth stage (85–95 days after transplanting) and middle leaf maturity (85–95 days after transplanting), the reduce proportion of K accumulation in tobacco leaves at the 5th and the 10th day after topdressing are reduced by 37.2–42.0 and 15.4–60.3 percent points, compared with conventional fertilization. Also the K contents in the middle and upper leaves are significant increased and reached to 3.21% and 3.37% respectively, and the K utilization efficiency is increased by 12–18 percent points. 【**Conclusions**】The suitable ratio of basal and topdressing is beneficial to the quality of tobacco leaves. In this research, under the total K application rate of 158 kg/hm^2, topdressing 15%–20% in the later vigorous growth stage and middle leaf maturity is expected to reduce the spillover rate of K and increase the K utilization efficiency and K content in tobacco leaves at the maturity, achieving the aim of high-yield and good quality.

Key words: potash management; flue-cured tobacco; absorption; accumulation; utilization

烟叶含钾量的高低与烟叶品质密切相关,是衡量烟叶品质优劣的一个重要指标。与国际优质烟叶相比,我国的烟叶含钾量普遍偏低,这已成为限制我国烟叶品质进一步提升的因素之一[1-3]。因此,研究钾肥运筹对烤烟钾吸收和积累的影响对烤烟种植中钾肥的合理施用具有重要意义[4-6]。烤烟对钾的积累主要在移栽后40～60天,移栽后90～110天钾积累增长缓慢,最后出现负增长现象[7]。烟叶含钾量的突变是在打顶期,成熟期钾积累减缓的原因之一是烟株打顶后体内的钾素存在着由根系外排的现象[8-9]。为减少打顶后烟株钾素的外溢,目前已报道的措施主要有环剥韧皮部、烟草适当的断根和培育钾高效基因型品种等技术[10-12]。近年研究发现,烤烟在生长后期可能仍具有一定的钾积累能力,打顶后追施一定量的钾肥可提高成熟期烟叶的含钾量和钾肥利用率[13-15]。凉山作为全国重要的战略性优质烟叶生产基地,当地主栽烤烟品种云烟85的烟叶含钾量较低,部分地区甚至低于优质烟叶含钾量的评判标准2%,严重限制了当地烟叶品质的提高[16-17]。调查发现,凉山烤烟种植钾肥用量一般为225 kg/hm^{2}左右,追施钾肥大部分是在移栽后30天内进行。钾肥过量、过早施入,质地较重的土壤对钾固定增多,而质地较轻的土壤遇强降雨,会导致钾的流失,都降低钾肥利用率[18-19]。说明当地烟叶含钾量低,可能是由于钾肥施用时期与烟叶钾积累的高峰期不一致所致。因此,本研究以当地主栽烤烟品种云烟85为材料,探讨钾肥用量和施用时期对烤烟钾吸收利用的影响,为当地合理施用钾肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试品种:云烟85,由凉山州烟草公司提供。

供试土壤:土壤类型为黄棕壤,2012年试验田土壤基本性质为pH 5.76、有机质17.71 g/kg、全氮1.41 g/kg、碱解氮215.92 mg/kg、速效磷16.00 mg/kg、速效钾238.11 mg/kg、缓效钾387.28 mg/kg。2013年试验田土壤基本性质为pH 5.57、有机质20.05 g/kg、全氮1.32 g/kg、碱解氮201.28 g/kg、速效磷18.21 mg/kg、速效钾245.24 mg/kg、缓效钾385.64 mg/kg。

供试肥料:硝磷铵(含N 30%、P_2O_5 6%)、过磷酸钙(含P_2O_5 12%)、硫酸钾(含K_2O 50%),均为商品肥料。

1.2 试验设计与处理

2012年钾肥用量试验设5个K_2O用量处理:0(CK)、90(K90)、180(K180)、270(K270)和360(K360) kg/hm^2,每个处理重复3次,氮、磷肥施用量分别为N 90 kg/hm^2、P_2O_5 90 kg/hm^2。小区面积为40 m^2,共15个小区,随机区组设计。

试验在凉山州烟草公司烟叶生产技术推广应用中心试验基地进行。每个小区移栽长势一致的烟苗50株(行株距为1.2 m×0.5 m),采用高垄单行栽培,试验田四周设保护行。氮、磷、钾肥施用方法按照当地习惯施用,移栽时将全部的磷肥、70%的氮

肥和 70% 的钾肥作为基肥环施于烟苗周围,剩余氮、钾肥在 30 天之内追施。其他栽培管理措施同常规。样品的采集按两种方式进行:1)分别于旺长期(移栽后 50 d)、现蕾期(65 d)、下部叶成熟期(85 d)、中部叶成熟期(95 d)和上部叶成熟期(105d)进行采样,整株采取,每个小区取 4 株混合样为一次重复; 2)按常规的烟叶采收方式进行采收、烘烤,烟叶分上部叶、中部叶和下部叶,每个处理取各部位烟叶的混合样 3 份,粉碎装袋待测。

2013 年钾肥追施试验以不施钾(I)和当地农户习惯施肥量和施肥方法(II)为两个对照,设 7 个不同的基追比例,共 9 个施钾处理,每个处理重复 3 次,具体设计见表 1。氮、磷肥施用量分别为 N 90 kg/hm^2、P_2O_5 90 kg/hm^2。小区面积为 40 m^2,共 27 个小区,随机区组设计。

试验地点及试验小区布置、烟草种植同 2012 年。样品的采集按两种方式进行:1)烤烟打顶后至下部叶成熟期间每 5 天取一次样(共 4 次),将烟叶全部采收,每个小区取 4 株混合样为一次重复;2)按常规的烟叶采收方式进行采收、烘烤,烟叶分上部叶、中部叶和下部叶,每个处理取各部位烟叶的混合样 3 份,粉碎装袋待测。

青样采集后先用自来水洗净,再用蒸馏水润洗,然后用吸水纸擦干,装入纸袋,在 105℃下杀青半小时,再将温度降至 75℃烘干至恒重并粉碎装袋待测。

表 1　烟草移栽后不同天数钾肥基施和追施比例

Table 1　Basal and topdressing percentage of potash in different days after transplanting

处理 Treatment	施钾量 K_2O input (kg/hm^2)	基施比例 Basal ratio (%)	追施比例(%) Topdressing ratio		
			30 d	55 d	80 d
I	0	0	0	0	0
II	225	70	30	0	0
III-1	158	100	0	0	0
III-2	158	70	0	15	15
III-3	158	60	0	20	20
III-4	158	50	0	25	25
III-5	158	40	0	30	30
III-6	158	30	0	35	35
III-7	158	0	0	50	50

1.3　测定项目和方法

植株全钾含量采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化—火焰光度计法进行测定;烟叶全氮含量采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化—凯氏定氮法进行测定;烟叶氯、还原糖、总糖和烟碱含量均采用 CH_3COOH 浸提—全自动连续流动分析仪(德国 Bran + Luebbe 公司生产仪器 AAC3)进行测定。

1.4　数据处理

产量(kg/hm^2) = 单位面积生物量(kg/m^2) ×10000;

钾积累量(kg/hm^2) = 单位面积生物量(kg/m^2) × 含钾量 ×10000;

钾积累速率[kg/(hm^2 · d)] = 钾积累量/移栽后天数;

阶段钾积累速率[kg/(hm^2 · d)] = 阶段钾积累量/阶段时间;

钾肥利用率(%) = (施肥后烤烟成熟时地上部钾积累总量 - 未施肥时烤烟成熟期地上部钾积累总量)/施肥量 ×100。

采用一元二次模型拟合施钾量与产量和钾积累量的关系 $y = ax^2 + bx + c$

式中: y 为产量或钾积累量; x 为钾肥用量; c 为截距; b 为一次回归系数; a 为二次回归系数。

根据边际收益等于边际成本计算最佳经济效益施钾量 $dy/yp = dx/xp$

式中: xp 为 K_2O 价格 3.4 yuan/kg; yp 为烟叶均价 20 yuan/kg。

采用 DPS(11.0)进行统计分析; LSD 法进行多重比较;图表制作采用 Excel(2007)。

2　结果与分析

2.1　钾肥用量对烤烟钾吸收积累的影响

2.1.1 钾积累量和钾积累速率　分析表 2 可知,烤烟的钾积累量随钾肥用量的增加呈先增大后减小的变化趋势,钾肥用量为 180 kg/hm^2 左右时,烤烟的钾积累量较高,过量施用钾肥,对烤烟钾素积累产生一定的抑制作用。烤烟移栽后 95 d 内,烟株的钾积累量随移栽后天数的延长逐渐增大,在 95 d(中部叶成熟)时达到最大,95 d 之后迅速降低。烤烟现蕾打顶(移栽后 65 d)后,烟株的钾积累量在 65 ~ 85 d 期间增幅较小,85 d 时(下部叶成熟)的钾积累量较低,而 95 d 时(中部叶成熟)的钾积累量较高,说明云烟 85 在生长后期可能仍具有较强的钾积累能力。从图 1 可以看出,云烟 85 对钾的积累主要在

中部叶成熟(移栽后95 d)之前,这期间随烤烟移栽后天数的延长烟株的钾积累速率呈上下波动的变化,在烤烟移栽后50～65 d(旺长后期)和85～95 d(中部叶成熟期)期间出现峰值。烤烟现蕾打顶(移栽后65 d)后,烟株对钾的积累速率明显降低,而随烤烟生育期的推进,K180和K270处理下烟株的钾积累速率较高,且高于其他生长阶段,说明适宜的钾肥用量可使云烟85在中部叶成熟期仍具有一个相对较高的钾积累速率。

表2 不同钾肥用量下烤烟的钾积累量差异(kg/hm^2)

Table 2 Differences of various K rates on K accumulation of flue-cured tobacco

处理 Treatment	移栽后天数 Days after transplanting (d)				
	50	65	85	95	105
CK	22.38 c	41.06 c	54.34 b	66.60 c	57.45 c
K90	38.10 ab	65.57 a	81.33 a	86.85 b	85.81 b
K180	40.93 a	62.47 ab	89.73 a	110.58 a	102.40 a
K270	39.11 ab	70.82 a	84.85 a	110.34 a	80.65 b
K360	33.82 b	55.74 b	81.90 a	89.15 b	75.75 b

注(Note):同列数值后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Values followed by different letters in a column indicate significantly different among the treatments ($P<0.05$).

2.1.2 钾肥用量与烟叶产量和钾积累量的关系 烟叶的产量、钾积累量和烤烟整株的钾积累量均随钾肥用量的增加呈先增加后降低的变化趋势,将烟叶产量、整株钾积累量和烟叶钾积累量分别与钾肥用量进行拟合(表3)。通过调控钾肥用量来提高烟叶产量和含钾量的最终目的是增加烤烟生产的经济效益,结合方程(1)计算得到最佳经济效益施钾量为158 kg/hm^2,此时的产量、整株钾积累量和烟叶钾积累量分别为2238.37 kg/hm^2、99.24 kg/hm^2和52.12 kg/hm^2,与最大产量和钾积累量相当,且结合方程(1)和(3)可计算得到烟叶含钾量为2.33%,高于优质烟叶的评判标准。而从钾肥用量来看,最佳经济效益时的钾肥用量最低,与当地的常规用量(225 kg/hm^2)相比,减少了25%左右,说明该钾肥用量在保证烟叶产量和含钾量的同时,还能降低经济投入,增加收益。

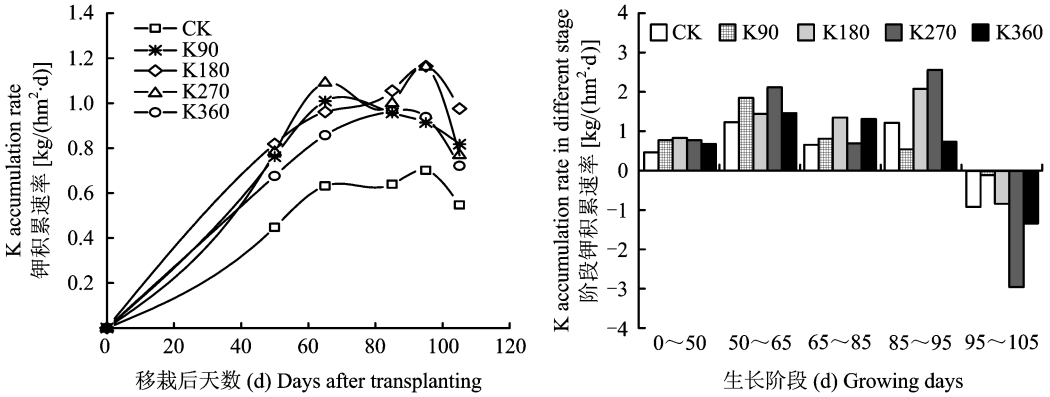

图1 不同钾肥用量烤烟的钾积累速率和阶段钾积累速率

Fig.1 K accumulation rate with different K inputs and in different growth days of flue-cured tobacco

表3 钾肥用量与烤烟产量和钾积累量的关系

Table 3 Relationship of K rate with yield and K accumulation

参数 Parameter	回归方程 Regression equation	R^2	最大值 Max (kg/hm^2)	钾肥用量 K rate (kg/hm^2)
产量 Yield	(1) $y_1 = -0.0092x^2 + 3.0714x + 1982.7584$	0.9976**	2239.10	168
钾积累总量 Total K accumulation	(2) $y_2 = -0.0006x^2 + 0.2346x + 77.2001$	0.9938**	103.14	196
烟叶钾积累量 Leaf K accumulation	(3) $y_3 = -0.0004x^2 + 0.1722x + 34.9417$	0.9506*	53.47	215

注(Note):*—$P<0.05$;**—$P<0.01$. x—钾肥用量 Represents K rate; y_1、y_2、y_3—分别为产量、整株钾积累量和烟叶钾积累量 Indicate yield, K accumulation in whole tobacco plant and K accumulation in leaves.

2.2　钾肥施用方式对烤烟钾吸收利用的影响

2.2.1 烟叶产量、含钾量及品质　分析表 4 可知,钾肥追施比例和时间对烟叶的产量和含钾量影响较大。烟叶产量和含钾量随钾肥追施比例的增加呈先增加后降低的变化趋势,Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理下烟叶的产量和含钾量相对较高。将Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理与常规施肥区(Ⅱ)相比,烟叶的产量无显著性的差异,而Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理下烟叶的含钾量高于常规施肥区,Ⅲ－3 处理下烤烟的上部叶和中部叶含钾量均显著高于Ⅱ处理,即Ⅲ－3 处理在保证烟叶产量的同时,可显著提高中、上部烟叶的含钾量。而该处理的施钾量仅为当地常规施钾量的 75% 左右,说明在烤烟的钾积累高峰期前以追施比例为 60∶20∶20 可显著提高烟叶的含钾量。

表 4　不同钾肥追施时间和比例烟叶的产量和含钾量(2013)

Table 4　Yield and K content of leaves under different potash topdressing ratio and date

钾肥施用方式(基追比) K management	烟叶产量 Leaf yield (kg/hm^2)	含钾量 K content (%)		
		上部叶 Upper leaf	中部叶 Middle leaf	下部叶 Lower leaf
Ⅰ (0∶0∶0)	1651.6 c	1.79 f	2.04 d	1.98 d
Ⅱ (0.7∶0.3∶0)	2016.5 a	2.77 cd	3.02 b	2.58 a
Ⅲ－1 (1∶0∶0)	1640.3 c	2.02 e	2.00 d	2.18 c
Ⅲ－2 (0.7∶0.15∶0.15)	1958.9 ab	2.96 bc	3.08 ab	2.61 a
Ⅲ－3 (0.6∶0.2∶0.2)	1975.6 ab	3.21 a	3.37 a	2.54 ab
Ⅲ－4 (0.5∶0.25∶0.25)	1819.2 bc	3.07 ab	2.10 d	2.20 c
Ⅲ－5 (0.4∶0.3∶0.3)	1634.3 c	3.09 ab	2.56 c	2.36 bc
Ⅲ－6 (0.3∶0.35∶0.35)	1643.4 c	2.70 d	2.27 cd	2.32 c
Ⅲ－7 (0∶0.5∶0.5)	1643.0 c	2.10 e	2.08 d	2.51 ab

注(Note)：同列数值后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$) Values followed by different letters in a column indicate significantly different among the treatments ($P<0.05$).

钾素有烟叶的品质元素之称,烟叶的含钾量高,卷烟制品的品质也较好。从表 5 来看,施钾方式对不同部位烟叶的化学成分均产生一定的影响。各部位烟叶的总氮含量受施钾方式的影响相对较小,不施钾肥(Ⅰ)时烟叶的总氮含量偏低,常规施肥区(Ⅱ)和优化施肥区(Ⅲ)烟叶的总氮含量均在 1.76%～2.58% 之间,属正常范围。上部烟叶的总糖和还原糖含量受施钾方式的影响也较小,除Ⅲ－1 处理外,其他处理间差异不显著,但还原糖含量整体偏低。而随烟叶位置向下,烟叶的总糖和还原糖含量有一个逐渐增大的趋势,下部烟叶的总糖和还原糖含量相对较高,优化施肥区(Ⅲ)随钾肥追施比例的增加表现为先增大后减小的变化趋势。烟碱含量主要表现为上、下部烟叶较低,优化施肥区(Ⅲ)随钾肥追施比例的增加逐渐降低,Ⅲ－1 处理下烟碱含量相对较高,Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理其次;而中部烟叶的烟碱含量相对较高,且受施钾方式的影响较小,除不施钾肥(Ⅰ)时烟碱含量较低外,其他处理间差异不显著。各部位烟叶的氯含量则与烟碱含量呈相反的变化趋势,优化施肥区(Ⅲ)随钾肥追施比例的增加烟叶氯含量逐渐升高,而不施钾肥(Ⅰ)时烟叶的氯含量较钾肥全部基施(Ⅲ－1)时高,说明前期过量施用钾肥可能导致烟叶的氯含量偏低,从而使烟叶叶片偏薄、弹性差。从烟叶化学成分的比值来看,各部位烟叶的还原糖/烟碱比值均以不施钾肥(Ⅰ)时最高,钾肥全部基施(Ⅲ－1)时最低,提高钾肥的追施比例,还原糖/烟碱比值有逐渐增大的趋势;各部位烟叶的总氮/烟碱比值在不同施钾方式下差异不大,均在 1 左右;钾/氯比值因烟叶部位的不同而存在一定的差异,上部烟叶的钾/氯比值相对较高,中、下部烟叶差异不大,随钾肥追施比例的增加各部位烟叶的钾/氯比值均呈先增大后减小的变化趋势。结合烟叶的化学成分及其比值综合分析,上部烟叶的品质相对较差,常规施肥区(Ⅱ)与优化施

表5 钾肥施用方式对烟叶化学成分的影响(%, 2013)

Table 5 Influence of potash management on chemical components in tobacco leaves

叶位 Leaf position	施肥方式(基追比) K management	总糖 TS	还原糖 RS	烟碱 Nic	总氮 TN	氯 Cl	还原糖/烟碱 RS/Nic	总氮/烟碱 TN/Nic	钾/氯 K^+/Cl^-
上部叶 Upper leaf	Ⅰ (0:0:0)	24.26 a	11.98 a	1.47 c	1.68 b	0.42 bc	8.14	1.14	4.31
	Ⅱ (0.7:0.3:0)	23.48 a	12.66 a	1.58 bc	1.93 b	0.25 cd	8.00	1.22	11.08
	Ⅲ-1 (1:0:0)	16.34 b	7.58 b	2.27 a	2.58 a	0.16 d	3.34	1.13	13.02
	Ⅲ-2 (0.7:0.15:0.15)	20.70 a	10.33 a	1.90 b	1.95 b	0.19 d	5.42	1.02	15.74
	Ⅲ-3 (0.6:0.2:0.2)	22.33 a	10.89 a	1.93 ab	2.04 b	0.22 d	5.63	1.05	14.33
	Ⅲ-4 (0.5:0.25:0.25)	23.01 a	11.18 a	1.50 c	1.82 b	0.60 a	7.46	1.21	5.08
	Ⅲ-5 (0.4:0.3:0.3)	22.00 a	11.39 a	1.65 bc	1.87 b	0.65 a	6.92	1.14	4.78
	Ⅲ-6 (0.3:0.35:0.35)	23.47 a	11.86 a	1.68 bc	1.81 b	0.53 ab	7.06	1.08	5.06
	Ⅲ-7 (0:0.5:0.5)	24.58 a	11.77 a	1.77 bc	1.76 b	0.54 ab	6.65	0.99	3.85
中部叶 Middle leaf	Ⅰ (0:0:0)	26.43 a	15.09 a	1.52 c	1.54 c	0.30 ab	9.91	1.01	6.77
	Ⅱ (0.7:0.3:0)	23.08 b	12.92 abc	2.47 a	2.16 b	0.34 a	5.22	0.87	8.96
	Ⅲ-1 (1:0:0)	20.70 c	9.77 e	2.43 a	2.10 b	0.17 b	4.01	0.86	11.68
	Ⅲ-2 (0.7:0.15:0.15)	22.90 b	12.16 bcd	2.33 ab	2.16 b	0.38 a	5.22	0.93	8.15
	Ⅲ-3 (0.6:0.2:0.2)	23.22 b	12.91 abc	2.38 a	2.11 b	0.29 ab	5.41	0.89	11.78
	Ⅲ-4 (0.5:0.25:0.25)	27.19 a	14.11 ab	2.38 a	2.21 ab	0.34 a	5.94	0.93	6.20
	Ⅲ-5 (0.4:0.3:0.3)	18.57 d	10.62 de	2.49 a	2.57 ab	0.36 a	4.26	1.03	7.09
	Ⅲ-6 (0.3:0.35:0.35)	20.32 cd	11.37 cde	2.26 ab	2.28 ab	0.28 ab	5.04	1.01	8.11
	Ⅲ-7 (0:0.5:0.5)	21.93 bc	13.20 abc	2.13 b	2.11 b	0.26 ab	6.21	0.99	7.88
下部叶 Lower leaf	Ⅰ (0:0:0)	31.79 a	18.71 a	1.38 c	1.41 d	0.30 c	13.58	1.03	6.51
	Ⅱ (0.7:0.3:0)	23.50 d	12.45 d	1.89 ab	1.96 bc	0.25 d	6.60	1.04	10.32
	Ⅲ-1 (1:0:0)	19.34 e	9.24 e	2.15 a	2.06 abc	0.23 d	4.29	0.96	9.60
	Ⅲ-2 (0.7:0.15:0.15)	27.29 b	16.08 abc	2.14 a	1.96 bc	0.21 d	7.51	0.91	12.33
	Ⅲ-3 (0.6:0.2:0.2)	27.65 b	16.35 ab	2.10 a	2.24 a	0.30 c	7.77	1.06	8.50
	Ⅲ-4 (0.5:0.25:0.25)	27.84 b	17.40 ab	1.83 ab	1.81 c	0.43 b	9.50	0.99	5.12
	Ⅲ-5 (0.4:0.3:0.3)	23.81 cd	13.63 cd	1.97 ab	1.90 bc	0.34 c	6.93	0.97	6.92
	Ⅲ-6 (0.3:0.35:0.35)	26.90 bc	14.96 bcd	1.77 b	2.06 abc	0.32 c	8.46	1.16	7.14
	Ⅲ-7 (0:0.5:0.5)	27.81 b	15.49 bc	1.84 ab	2.13 ab	0.48 a	8.43	1.16	5.24

注(Note):同列数值后不同字母表示同一部位烟叶在不同处理间差异显著($P<0.05$) Values followed by different letters in a column indicate significantly different ($P<0.05$) among different treatments at the same position of leaves. TS—Total sugar; RS—Reducing sugar; TN—Total N; Nic—Nicotine.

肥区中Ⅲ-2(70:15:15)和Ⅲ-3(60:20:20)处理下烟叶化学成分的含量较合适,比例协调。

2.2.2 烟叶钾积累量 结合表2和图1可知,与现蕾期相比,下部叶成熟期烟株的钾积累量并没有降低,且随生长时间的延长,烤烟的钾积累速率逐渐增加,说明该烤烟品种如果存在钾素外溢的现象,应在现蕾期至下部叶成熟期之间,且随打顶后时间的延长,烟株钾素的外溢减弱。因此第二期试验从烤烟打顶时开始间隔取样,观测不同施钾方式下烤烟钾素的外溢情况。如表6所示,除Ⅲ-1处理外,烤烟

在成熟期的烟叶钾积累量均高于打顶当天,说明烤烟打顶后至成熟期间Ⅲ－1 处理下烟株钾素的外溢量高于吸收量,移栽时一次施用钾肥会导致烤烟生长后期土壤供钾不足,不利于烟叶的钾素积累。不施钾处理下,烤烟的钾积累量较低,且随打顶后天数的延长增加较少,成熟期烟叶的钾积累量显著低于其他处理;常规施肥(Ⅱ)烟叶的钾积累量随生长时间的延长表现出先降低再增加的变化趋势,打顶 10 d 之后烟叶的钾积累量逐渐增加;优化施肥(Ⅲ)中,除Ⅲ－1 处理外,烟叶的钾积累量随生长时间的延长均表现出先增加后降低再增加的变化趋势,说明打顶后追施钾肥对烤烟钾素的外溢有一个减缓的作用,且Ⅲ－2 处理下各时间点烟叶的钾积累量均高于打顶当天烟叶的钾积累量,Ⅲ－3 处理下打顶后 15 d 烟叶的钾积累量也显著高于打顶当天。而对比各时间点烟叶的钾积累量来看,常规施肥方式下(Ⅱ)烤烟打顶后 5 d 内和 10 d 内烟叶的钾积累量分别比打顶当天降低了 5.12% 和 17.59%;优化施肥中,Ⅲ－2 处理下烟叶的钾积累量在打顶后 5 d 内和 10 d 内并没有降低,反而增加了 36.83% 和 42.75%,Ⅲ－3 处理下烟叶的钾积累量在打顶后 5 d 也增加了 32.04%,10 d 内降低了 2.19%。Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理下烟叶钾积累量的降低比例在打顶后 5 d 内和 10 d 内均比常规施肥(Ⅱ)减少了 15 个百分点以上,明显减少了烟叶钾素的外溢量。

表 6　不同钾肥施用方式下烟叶的钾积累量(kg/hm^2, 2013)

Table 6　K accumulation amount in tobacco leaves under different potash management

施肥方式(基追比) K management	打顶当天 Topping day	打顶后 5 天 5 days after topping	打顶后 10 天 10 days after topping	打顶后 15 天 15 days after topping	成熟期 Mature stage
Ⅰ (0∶0∶0)	17.57 e^{d}	20.18 f^{cd}	21.12 c^{c}	26.04 d^{b}	32.47 f^{a}
Ⅱ (0.7∶0.3∶0)	32.24 b^{c}	30.59 bc^{c}	26.57 b^{d}	35.27 b^{b}	57.66 b^{a}
Ⅲ－1 (1∶0∶0)	40.28 a^{a}	28.92 cd^{c}	23.85 b^{d}	30.03 c^{c}	33.66 f^{b}
Ⅲ－2 (0.7∶0.15∶0.15)	29.92 c^{c}	40.94 a^{b}	42.71 a^{b}	38.67 a^{b}	57.50 b^{a}
Ⅲ－3 (0.6∶0.2∶0.2)	25.97 d^{c}	34.29 b^{b}	25.40 b^{c}	35.70 b^{b}	61.94 a^{a}
Ⅲ－4 (0.5∶0.25∶0.25)	24.66 d^{c}	30.46 bc^{b}	25.31 b^{c}	31.02 c^{b}	42.19 c^{a}
Ⅲ－5 (0.4∶0.3∶0.3)	24.96 d^{c}	24.03 ef^{c}	19.24 c^{d}	29.79 c^{b}	42.91 c^{a}
Ⅲ－6 (0.3∶0.35∶0.35)	29.12 c^{b}	22.04 ef^{c}	23.94 b^{c}	29.87 c^{b}	39.11 d^{a}
Ⅲ－7 (0∶0.5∶0.5)	24.91 d^{c}	25.34 de^{c}	24.75 b^{c}	34.31 b^{b}	36.16 e^{a}

注(Note)：数值后不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$) Values followed by different letters indicate significantly different ($P<0.05$) among treatments；数值后不同上标字母表示同一处理不同时期间差异显著($P<0.05$) Values followed by different superscript lowercase letters indicate significantly different ($P<0.05$) for the same treatment among different stages.

2.2.3 钾肥利用率　钾肥利用率与经济效益密切相关,提高烤烟的钾肥利用率不仅能减少经济投入,还能提高烟叶的产量和品质。从图 2 可以看出,施钾方式能对烤烟的钾肥利用率产生较大影响。当钾肥用量一致时,烤烟的钾肥利用率随追肥比例的增加呈先增大后减少的变化趋势,Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理下烤烟的钾肥利用率相对较高。与当地的常规施钾方式(Ⅱ)相比,优化施肥区中Ⅲ－2 和Ⅲ－3 处理下烤烟的钾肥利用率分别提高了 18 和 12 个百分点。说明在烤烟的钾积累高峰期以钾肥的追施比例为 70∶15∶15 和 60∶20∶20 能有效地提高施入土壤中钾肥的利用率,促进烤烟对钾的吸收,提高烟株的钾积累量。

3　讨论

3.1　烤烟钾吸收积累特性

明确特定烤烟品种对钾的吸收和积累规律,对烤烟种植过程中钾肥的合理施用有着重要的指导意义。相关研究指出,烤烟对钾的吸收高峰出现在移栽后 40～60 d,特别是移栽后 7 周内,对钾的积累量可达到全生育期的 70%～80%[7, 20]。也有报道指出,烤烟前期对钾的吸收很少,30 d 后吸收强度加大,45～60 d 为钾素吸收高峰期,60 d 后吸收量减少,75 d 后迅速下降[21]。本研究表明,云烟 85 对

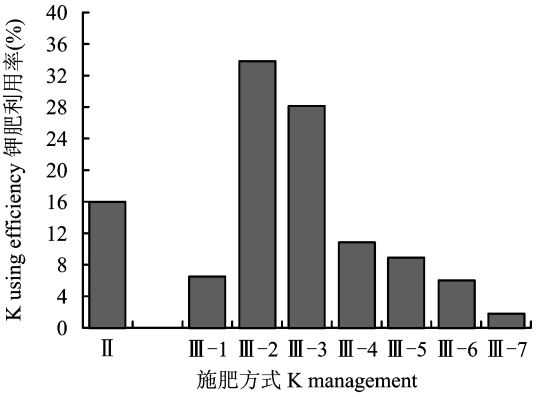

图2 钾肥施用方式对烤烟钾肥利用率的影响

Fig. 2 Influence of potash management on K using efficiency of flue-cured tobacco

[注(Note):基追比 Dressing ratio Ⅱ—70∶30∶0;Ⅲ-1—100∶0∶0;Ⅲ-2—70∶15∶15;Ⅲ-3—60∶20∶20;Ⅲ-4—50∶25∶25;Ⅲ-5—40∶30∶30;Ⅲ-6—30∶35∶35;Ⅲ-7—0∶50∶50.]

钾的积累高峰主要分为两个阶段,分别是旺长后期(移栽后50～65 d)和中部叶成熟期(移栽后85～95 d),钾肥用量在180 kg/hm^{2}左右时烟株在钾积累高峰期的积累速率较大。烤烟打顶之后,体内有大量的钾离子由根系回流到土壤中,存在钾素外溢的现象,从而导致烤烟成熟期的钾积累量较低[9,22]。本研究中,打顶后烤烟的钾积累速率虽然有所降低,但烟株的钾积累量仍然在增加,且进入中部叶成熟期后烟株对钾的积累速率急剧上升,说明尽管打顶后烤烟体内的钾素存在着外排的现象,但因外排的时间较短或其对钾的积累速率大于外排速率,所以云烟85在生长后期对钾仍具有较强的积累能力。而凉山烟区传统的钾肥追施大部分是在移栽后30 d内完成,钾肥的肥效是很快的,宜在其对钾的吸收高峰期前施入。因此,在烤烟对钾的积累高峰期(移栽后50～65 d和85～95 d)前追施钾肥,即适当增加后期的钾肥追施比例,有望提高云烟85在成熟期的烟叶含钾量。

3.2 钾肥用量与烤烟钾吸收积累的关系

施钾量与烟叶含钾量的关系一直是烤烟研究领域里的一个热点,适宜的钾肥用量不但能保证烟叶产量,提高烟叶含钾量,还能提高钾肥利用率,以达到经济与高产的目的。郑宪滨等研究指出,只要持续有效的给烤烟供应充足的钾素,就能使烟叶的含钾量保持在一个相当高的水平[6]。而钟晓兰等则认为,烟叶含钾量只在一定范围内随施钾量的增加而增加,当施钾量超过一定量后,含钾量增加缓慢,最后趋于平缓[4]。杨铁钊等利用指数方程将烤烟生长天数与钾积累量进行拟合,计算得到了烤烟最大钾积累速率的生长阶段[7]。本研究采用一元二次模型将烟叶产量、烟叶钾积累量和整株钾积累量分别与钾肥用量进行拟合,相关性均达显著或极显著。以最佳经济效益计算得到的钾肥用量不仅能保证烟叶的产量和含钾量,其用量也仅为当地常规用量的75%左右。因此,可确定在本试验条件下,种植云烟85的最佳钾肥用量为158 kg/hm^2。

3.3 施钾方式与烤烟钾吸收利用的关系

仅通过改变钾肥用量来提高烟叶的含钾量还具有一定的局限性。近年来,有学者指出,不同的钾肥施用方法会影响烤烟在整个生育期内,特别是在烟草钾积累高峰期对钾的吸收量,使成熟期烟叶的含钾量存在较大差异,保证烤烟中、后期钾素的充足供应是提高烟叶产量和含钾量的关键[14,23]。研究发现,打顶后追施一定量的钾肥可提高烟叶的含钾量,且随钾肥追施量的增加,烟叶含钾量不断增加[13,15]。本研究表明,在确定了烤烟的钾积累高峰期后,适当提高钾肥在烤烟钾积累高峰期的施用比例不仅能保证烟叶的产量和含钾量较高,还能提高烤烟的钾肥利用率,以优化施肥区中的Ⅲ-2(70∶15∶15)和Ⅲ-3(60∶20∶20)处理效果较好。与常规施肥(Ⅱ)相比,优化施肥(Ⅲ-2和Ⅲ-3)对烟叶产量影响较小,主要提高了中、上部烟叶的含钾量,从而使得Ⅲ-2和Ⅲ-3处理下烤烟的钾肥利用率分别提高了18个百分点和12个百分点。说明在云烟85的种植生产中,结合最佳钾肥用量158 kg/hm^2,以基肥为总量的60%～70%,并在其两个钾积累高峰期分别追施15%～20%,在保证烟叶产量前提下,还能提高烟叶的含钾量和钾肥利用率,以达到既经济又高产的目的。

一般认为,烟叶的含钾量高,烟叶品质及卷烟制品的安全性也较好。研究表明,团棵期和打顶期分次追施钾肥比团棵期1次等量追施的烟叶品质更好,且随钾肥追施量的增加,烟叶的总糖量不断增加,烟碱也呈降低的趋势[15]。这与本研究的结果相一致,提高钾肥的追施比例,各部位烟叶的总糖和还原糖含量基本呈先增加后降低的变化趋势,前期基肥施用不足或后期缺钾都会导致烟叶的糖含量降低;烟碱含量随钾肥追施比例的增加呈逐渐降低的变化趋势,基肥施用不足会导致烟碱含量偏低,卷烟制品的吸味淡薄,氯含量与之相反,基肥的过量施用会导致烟叶的氯含量偏低,从而使烟叶叶片偏薄,弹性差。因此,适宜的钾肥基追比显得尤为重要。而

综合烟叶的化学成分及其比值分析,烤烟上部烟叶的品质较差,受钾肥施用方式的影响相对较小;常规施肥(Ⅱ)与优化施肥区中Ⅲ-2(70∶15∶15)和Ⅲ-3(60∶20∶20)处理下烟叶化学成分的含量较合适,比例协调,与烟叶含钾量的情况相一致。

烤烟成熟期烟叶含钾量的降低,主要是由于打顶后烟叶生物量的快速积累而产生的稀释效应所致。近年来有报道指出,烤烟打顶后体内钾离子的外排也是导致成熟期烟叶含钾量低的原因之一[8]。因此,为减少烟株钾素的外排,提高烟叶的含钾量,相关学者进行了大量的探索和研究。长期以来,用于减少烟株钾素外排的措施主要有打顶后环剥韧皮部和适当的断根等技术[11,24]。本研究表明,在烤烟打顶后追施钾肥总量的 15%～20% 能减少烟株钾素的外溢,并有效利用烤烟在中部叶成熟期出现的钾积累高峰期,促进烤烟在生长后期对钾的吸收和积累,提高成熟期烟叶的含钾量。

4　结论

烤烟的钾积累量随钾肥用量的增加呈先增加后降低的变化趋势,钾肥用量为 158 kg/hm^2 时烟叶的产量和钾积累量与最高产量和钾积累量相当,钾肥的投入量较低。说明在土壤钾含量处于丰富或以上水平时,适当降低钾肥施用量可提高种植云烟 85 的经济效益。

以钾肥施用总量为 158 kg/hm^2,在烤烟进入旺长后期(移栽后 50～65 d)和中部叶成熟期(移栽后 85～95 d)之前分别追施钾肥总量的 15%～20%,可降低烤烟打顶后烟叶钾素的外溢,显著提高中、上部烟叶的含钾量和钾肥利用率。

钾肥施用方式对烟叶品质指标的影响因指标的不同而存在一定差异,含钾量较高的烟叶,其他品质指标的含量和比值较合适,钾肥基追比例的协调有利于烟叶整体品质的提升。

参 考 文 献:

[1] 张笛, 叶协锋, 刑小军, 等. 凉山烤烟钾含量状况及其与国内外优质烤烟的比较分析[J]. 湖南农业科学, 2012, (5): 30-33.
Zhang D, Ye X F, Xing X J *et al*. The status of potassium content in Liangshan tobacco and its contrast analysis with high-quality tobacco in China and abroad[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2012, (5): 30-33.

[2] 杨铁钊, 鲁黎明, 夏巍, 等. 烤烟富钾基因型钾吸收积累与内向钾电流特性[J]. 中国农业科学, 2008, 41(8): 2392-2399.
Yang T Z, Lu L M, Xia W *et al*. Characteristics of potassium-enriched flue-cured tobacco genotype in potassium absorption, accumulation and in-ward potassium currents of root cortex[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(8): 2392-2399.

[3] 解燕, 王文楷, 赵杰, 等. 烟草钾素营养与钾肥研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(8): 302-307.
Xie Y, Wang W K, Zhao J *et al*. Potassium nutrition and potassium fertilizer for tobacco production [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(8): 302-307.

[4] 钟晓兰, 张德远, 李江涛, 等. 施钾对烤烟钾素吸收利用效率及其产量和品质的影响[J]. 土壤, 2008, 40(2): 216-221.
Zhong X L, Zhang D Y, Li J T *et al*. Effects of K application on K absorption, K utilization efficiency, and yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Soils, 2008, 40(2): 216-221.

[5] 王毅, 王跃进, 杨德廉, 等. 土壤供钾水平对烤烟生长及钾素营养的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 42-45.
Wang Y, Wang Y J, Yang D L *et al*. Effects of soil potassium supply level on development and potassium nutrition of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(6): 42-45.

[6] 郑宪滨, 曹一平, 张福锁, 等. 不同供钾水平下烤烟体内钾的循环、累积和分配[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 166-172.
Zheng X B, Cao Y P, Zhang F S *et al*. Circulation, accumulation and distribution of potassium in flue-cured tobacco with different potassium levels [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(2): 166-172.

[7] 杨铁钊, 彭玉富. 富钾基因型烤烟钾积累特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 750-753.
Yang T Z, Peng Y F. Potassium accumulation characteristics of rich-potassium genotypic flue-cured tobacco[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(5): 750-753.

[8] Dai X Y, Su Y R, Wei W X *et al*. Effects of top excision on the potassium accumulation and expression of potassium channel genes in tobacco[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(1): 279-289.

[9] 郭丽琢, 张福锁, 李春俭. 打顶对烟草生长、钾素吸收及其分配的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 819-822.
Guo L Z, Zhang F S, Li C J. Effects of decapitation on growth, uptake and distribution of potassium in tobacco [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 819-822.

[10] 舒海燕, 常胜合, 杨铁钊. 烟草钾素外排及其预防的初步研究[J]. 作物杂志, 2005, (2): 16-17.
Shu H Y, Chang S H, Yang T Z. The preliminary research on the tobacco potassium efflux and its prevention [J]. Crops, 2005, (2): 16-17.

[11] 沈方科, 韦忠, 黄芩芬, 等. 断根、环割对烟草体内钾、钙、镁循环和积累的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 127-131.
Shen F K, Wei Z, Huang Q F *et al*. Effects of the root-cutting and girding on the circulation and accumulation of the potassium, calcium and magnesium in tobacco[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(1): 127-131.

[12] 戴林建，徐双红，王翔，等. 施钾对烤烟高钾新品系生长发育及含钾量的影响[J]. 中国农学通报，2011，27(30)：152-158.
Dai L J, Xu S H, Wang X *et al*. Effects of potassium application rate on the growth and potassium content of new strains of flue-cured tobacco with high potassium efficiency [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30): 152-158.

[13] 张翔，马聪，毛家伟，等. 钾肥施用方式对烤烟钾素利用及土壤钾含量的影响[J]. 中国土壤与肥料，2012，(5)：50-53.
Zhang X, Ma C, Mao J W *et al*. Effects of potassium fertilizer application methods on flue-cured tobacco potassium utilization and contents of soil potassium[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012, (5): 50-53.

[14] 张明发，朱列书. 烤烟不同生育期供钾水平对叶片钾含量的影响[J]. 中国烟草科学，2009，30(1)：23-25.
Zhang M F, Zhu L S. Effects of potassium rate in different growth stages on leaf potassium content of flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(1): 23-25.

[15] 戴勋，王毅，刘彦中，等. 不同钾肥追施量对烤烟 K326 生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学，2009，30(1)：19-22.
Dai X, Wang Y, Liu Y Z *et al*. Effects of different potassium sidedressing rates on growth, yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2009, 30(1): 19-22.

[16] 窦玉青，张伟峰，程森，等. 产地对主栽烤烟品种主要化学成分的影响[J]. 甘肃农业大学学报，2012(1)：53-58，63.
Dou Y Q, Zhang W F, Cheng S *et al*. Effects of producing areas on main chemical compositions of major flue-cured tobacco cultivars[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2012 (1): 53-58, 63.

[17] 鲁黎明，尹园，胡建新，等. 凉攀烟区烤烟微量元素含量与常规化学成分相关性分析[J]. 河南农业大学学报，2012，46(3)：252-257，267.
Lu L M, Yin Y, Hu J X *et al*. Study on correlation between contents of chemical components and micro-elements of flue-cured tobacco in Liang-Pan Region[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2012, 46(3): 252-257, 267.

[18] 杨铁钊，杨志晓，林娟，等. 不同烤烟基因型根际钾营养和根系特性研究[J]. 土壤学报,2009，46(4)：646-651.
Yang T Z, Yang Z X, Lin J *et al*. K nutrition in rhizosphere and characteristics of roots of flue-cured tobaccos different in genotype [J]. Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(4): 646-651.

[19] 徐晓燕，马毅杰，张瑞平. 土壤中钾的转化及其与外源钾的相互关系的研究进展[J]. 土壤通报，2003，34(5)：489-492.
Xu X Y, Ma Y J, Zhang R P. Research progress in transformation of soil potassium in relation to potash application [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(5): 489-492.

[20] 胡国松，张国显，曹志宏，等. 河南烟区烤烟叶片含钾量低的原因初探[J]. 中国烟草学报，1996，3(1)：13-18.
Hu G S, Zhang G X, Cao Z H *et al*. Primary study about the mechanism of low K content in flue-cured tobacco leaf of Henan province[J]. Acta Tabacaria Sinica, 1996, 3(1): 13-18.

[21] 栾双，范志新，曹亦夫，等. 寒冷地区烤烟氮磷钾的吸收动态[J]. 中国烟草学报，2001，7(2)：17-21.
Luan S, Fan Z X, Cao Y F *et al*. The absorption of N, P, K in flue-cured tobacco in low temperature area in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2001, 7(2): 17-21.

[22] 代晓燕，苏以荣，魏文学，等. 打顶对烤烟植株钾素代谢和钾离子通道基因表达的影响[J]. 中国农业科学，2009，42(3)：854-861.
Dai X Y, Su Y R, Wei W X *et al*. Effects of topping on potassium metabolism and expression of potassium channels in tobacco plants[J]. Scienti Agricultura Sinica, 2009, 42(3): 854-861.

[23] 钟晓兰，张德远，周生路，何宽信. 钾肥用量及基追肥比例对烤烟干物质累积和钾素吸收动态的影响[J]. 应用生态学报，2006，17(2)：251-255.
Zhong X L, Zhang D Y, Zhou S L, He K X. Effects of potassium application rate and its supplemental proportion on dry matter accumulation and potassium absorption of flue-cured tobacco[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(2): 251-255.

[24] 赵正雄，殷红慧，李宏光，等. 断根追钾条件下减量施氮对烟株后期氮、钾吸收及烟叶产量质量的影响[J]. 作物学报，2008，34(7)：1294-1298.
Zhao Z X, Yin H H, Li H G *et al*. Integrated effects of reducing N application and cutting-roots with K top-dressing on N, K uptake, and yield, quality of flue-cured tobacco [J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(7): 1294-1298.